



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 41 11 520 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁵:
B 66 D 1/12
B 66 D 1/36
B 66 D 1/72

⑳ Aktenzeichen: P 41 11 520.1
㉔ Anmeldetag: 9. 4. 91
㉕ Offenlegungstag: 29. 10. 92

DE 41 11 520 A 1

㉚ Anmelder:
R. Stahl Fördertechnik GmbH, 7118 Künzelsau, DE

㉛ Vertreter:
Rüger, R., Dr.-Ing.; Barthelt, H., Dipl.-Ing.,
Pat.-Anwälte, 7300 Esslingen

㉞ Zusatz zu: P 41 04 985.3

㉟ Erfinder:
Lanfer, Hermann, Dr., 7118 Künzelsau, DE

㉡ Schwingarmer Elektrokettenzug

㉢ Bei einem schwingarmen Elektrokettenzug sind zwei Lastketten vorhanden, die beide mit Hilfe einer eigenen Kettennuß bewegt werden, wobei beide Kettennüsse auf einer gemeinsamen Welle im Winkel gegeneinander versetzt angeordnet sind. Mit beiden Lastketten ist ein gemeinsames Hakengeschirr verbunden, so daß die an dem Haken hängende Last eine Bewegung ausführt, die gleich dem Mittelwert der Ungleichförmigkeiten der Bewegungen beider Ketten ist.

Um trotz der durch den Polygoneffekt hervorgerufenen Ungleichförmigkeiten in der Bewegung der Lastketten die Last möglichst ruhig anzuheben, sind die beiden Kettennüsse um einen Winkel gegeneinander verdreht, der in einem Bereich zwischen $360^\circ/(4\epsilon - \epsilon)$ und $3360^\circ/(4\epsilon) +$ liegt, mit ϵ = Anzahl der Taschen der Kettennuß und ϵ = ein zulässiger Fehler.

DE 41 11 520 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen Elektrokettenzug mit den Merkmalen des Anspruches 1 der Stammanmeldung P 41 04 985.3.

In der Stammanmeldung ist ein schwingarmer Elektrokettenzug beschrieben, der zwei voneinander unabhängige Lastketten aufweist, die mit einem gemeinsamen Hakengeschirr verbunden sind. Beide Lastketten laufen über eine Zugehörige Kettenuß, wobei beide Kettennüsse synchron miteinander angetrieben sind. Die beiden Kettennüsse sind außerdem winkelmäßig gegeneinander versetzt, damit die Auswirkungen, die durch den Polygoneffekt der Kettennüsse hervorgerufen werden, vermindert sind.

Aufgabe der Erfindung ist es, die Zusammenhänge anzugeben, die das Auffinden des jeweils optimalen Verdrehwinkels zwischen den beiden Kettennüssen vereinfachen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch einen Elektrokettenzug mit den Merkmalen des Anspruches 1 gelöst.

Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand von Unteransprüchen.

In der Zeichnung ist ein Ausführungsbeispiel des Gegenstandes der Erfindung dargestellt. Es zeigen:

Fig. 1 den Kettenzug gemäß der Erfindung in einer Draufsicht,

Fig. 2 den Kettenzug gemäß der Erfindung in einer Stirnansicht, geschnitten entlang der Linie II-II nach Fig. 1, auf der Höhe der angetriebenen Kettennüsse sowie auf der Höhe der lose laufenden Kettennüsse,

Fig. 3 schematisiert den Versatz zwischen den angetriebenen Kettennüssen,

Fig. 4 das Hakengeschirr des Kettenzuges nach Fig. 1 in einer perspektivischen Ansicht,

Fig. 5 das Hakengeschirr nach Fig. 4, teilweise geschnitten entlang der Linie V-V nach Fig. 4,

Fig. 6 eine Kettenuß mit darum liegender Lastkette zur Veranschaulichung der analytisch-geometrischen Verhältnisse in einer Seitenansicht,

Fig. 7 das Ersatzpolygon für die in Fig. 6 gezeigte Kettenuß,

Fig. 8 den qualitativen Verlauf der Abweichung zwischen dem Kettenhub und dem Seilhub, bezogen auf den Drehwinkel und

Fig. 9 den Betrag der Abweichung der Bewegung des Hakens gegenüber einem Seil mit gleicher mittlerer Hubgeschwindigkeit.

In den Fig. 1 und 2 ist ein Kettenzug 1 veranschaulicht, der mittels eines Katzfahrwerkes 2 auf einem Unterflansch 3 einer aus einem I-Profil bestehenden Schiene 4 läuft. Das Fahrwerk 2 umfaßt zwei parallel mit Abstand zueinander angeordnete Fahrwerksschilde 5, 6, die etwa rechteckige Gestalt haben und vertikal bzw. längs der Fahrachse 4 ausgerichtet sind. Die beiden Fahrwerksschilde 5, 6 sind aneinander mittels Gewindebolzen 7 befestigt, die die beiden Fahrwerksschilde 5, 6 unterhalb des Unterflansches 3 miteinander verbinden. Um die Fahrwerksschilde 5, 6 auf dem richtigen Abstand zu halten, sitzen auf dem Gewindebolzen 7 zwischen den Fahrwerksschilden 5, 6 rohrförmige Distanzstücke 8.

Jedes der beiden Fahrwerksschilde 5, 6 trägt auf seiner dem anderen Fahrwerksschild 5, 6 zugekehrten Innenseite 9, 11 zwei Achsbolzen 12, 13, auf denen Laufräder 14 drehbar gelagert sind. Mit diesen insgesamt vier Laufrädern 14 rollt das Fahrwerk 2 auf der Oberseite des Unterflansches 3 beidseits eines Mittelsteges 15 der Fahrachse 4. Das Fahrwerk 2 ist auf diese Weise in allen Richtungen kippgesichert.

Der Antrieb der Laufräder 14, die in der üblichen Weise mit Lauffläche und Spurkranz versehen sind, ist bekannt und aus Übersichtlichkeitsgründen nicht mit veranschaulicht, um die Zeichnung nicht mit Einzelheiten zu überladen.

An einem Ende des Fahrwerkes 2 befindet sich ein Hubwerk 16 mit zwei an sich voneinander unabhängigen Ketten 17 und 18.

Das Hubwerk weist einen in der üblichen Weise ausgeführten Hubwerksmotor 19 auf, der in der bekannten Weise mit einem Getriebe, einer Überlastkupplung und einer Stillstandsbremse versehen ist. Sein Getriebegehäuse 21 ist an einem Z-förmig abgekröpften Träger 22 mit Hilfe von Befestigungsschrauben 23 befestigt. Das andere Ende des Z-förmig abgekröpften Trägers 22 ist mit Hilfe von Befestigungsschrauben 25 an der Außenseite des Fahrwerksschildes 5 angebracht. Eine Ausgangswelle 26 des Hubwerksmotors 19 zeigt in Richtung auf das Fahrwerksschild 5.

Auf der Außenseite des Fahrwerksschildes 5 sitzt ferner ein Lagergehäuse 27, das mit einem rohrförmigen Ansatz 28 in einer entsprechenden Bohrung des Fahrwerksschildes 5 steckt. Die Bohrung liegt unterhalb des Unterflansches 3. In dem rohrförmigen Fortsatz 28 befinden sich zwei Wälzlager 29, in denen axial gesichert eine Kettenußwelle 31 drehbar gelagert ist. Auf dem Lagergehäuse 27 ist auf der Außenseite ein Kettenußgehäuse 32 angeordnet. Das Kettenußgehäuse 32 ist mit Hilfe von Gewindeschrauben 33 gehalten, die durch entsprechende Bohrungen in dem Kettenußgehäuse 32 sowie damit fluchtenden Bohrungen in dem Lagergehäuse 27 hindurchführen und in entsprechende Gewindebohrungen in dem Fahrwerksschild 5 eingedreht sind.

Das Kettenußgehäuse 32 umgibt eine auf der Kettenußwelle 31 drehfest sitzende Kettenuß 34 um einen Winkel von ca. 150°. Die Kettenuß 34 ist in Fig. 3 schematisiert dargestellt und enthält in ihrem Umfang insgesamt vier Kettentaschen 35 zur Aufnahme derjenigen Glieder der Kette 18; die beim Umlauf um die Kettenuß 34 liegend herumgeführt werden. Dabei hat das Kettenußgehäuse 32 die Aufgabe, ein Herunterspringen der Kette 18 längs des Umschlingungswinkels von 150° zu verhindern. Das Kettenußgehäuse 32 folgt deswegen mit seiner Innenseite 36 mit einem geringen Abstand über den Umschlingungswinkel von 150° demjenigen Punkt der Kettenuß 341 der den größten radialen Abstand von der Achse der Kettenußwelle 31 hat. Um die stehenden Glieder der Kette 18 aufzunehmen, hat das Kettenußgehäuse in seiner Innenseite 36 eine entsprechende, längs dem Umfang verlaufende Nut 37.

Die Kettenußwelle 31 schaut mit ihrem von dem Fahrwerksschild 5 abliegenden Ende aus dem Kettenußgehäuse 32 bzw. der Kettenuß 34 heraus und ist an diesem Ende mit Hilfe einer rohrförmigen Verbindungswelle

38 drehfest mit der Ausgangswelle 26 des Hubwerksmotors 19 gekuppelt.

Unterhalb des Kettenußgehäuses 32 befindet sich ein abgebrochen veranschaulichter Kettenspeicher 41, in den das Leertrum der Kette 18 läuft.

Das Fahrwerksschild 5 ist hinsichtlich seiner Ausstattung mit Ausnahme des Hubwerksmotors 19 zu dem Fahrwerksschild 5 spiegelbildlich. Es trägt ebenfalls auf seiner Außenseite ein Kettenußgehäuse sowie ein durch eine entsprechende Bohrung hindurchführendes Lagergehäuse, das denselben Aufbau hat wie das Kettenußgehäuse 32 und das Lagergehäuse 27, weshalb die entsprechenden Bauteile an dem Fahrwerksschild 5 dasselbe mit einem Apostroph ergänzte Bezugszeichen tragen wie die homologen Bauteile an dem Fahrwerksschild 5. Eine genaue Beschreibung erübrigt sich damit.

Zur Erhöhung der Leistung ist es jedoch auch möglich, an dem Fahrwerksschild 6 einen Hubwerksmotor vorzusehen, der zusammen mit dem Hubwerksmotor 19 die mechanisch miteinander gekuppelten Kettennüsse 34, 34' antreibt.

Beide Kettenußwellen 31 und 31' schauen an ihrem einander zugekehrten Ende aus dem zugehörigen Lagergehäuse 27, 27' hervor und sind mittels einer rohrförmigen Welle 42 drehfest miteinander gekuppelt. Auf diese Weise wird beim Ingangsetzen des Hubwerksmotors 19 von der Ausgangswelle 26 die rohrförmige Welle 38, die damit drehfest verbundene Kettenußwelle 31, die mit der Kettenußwelle 31 drehfest verbundene rohrförmige Welle 42 und schließlich die am anderen Ende der Welle 42 eingesteckte Kettenußwelle 31' in Umdrehungen versetzt, womit sich beide Kettennüsse 34 und 34' synchron drehen.

Bezogen auf die Längserstreckung des Fahrwerksschildes 5 ist etwa in der Mitte und damit auch in der Mitte zwischen den beiden Laufrädern 14 des Fahrwerksschildes 5 ein starrer Lagerzapfen 43 vorgesehen, der von dem Fahrwerksschild 5 nach außen wegsteht und zu der Kettenußwelle 31 achsparallel ist. Der Lagerbolzen 43 ist gegenüber der Kettenußwelle 31 nach oben versetzt und dient der Lagerung einer Kettenuß 44. Die Kettenuß 44 wirkt als lose laufende Umlenkrolle für die Kette 18.

Um die Kettenuß 44 zu schützen, ist an dem Fahrwerksschild 5 eine Abdeckhaube 45 befestigt, die in Fig. 1 der Übersichtlichkeit halber weggelassen ist.

Das Fahrwerksschild 5 ist in derselben Weise ausgestattet, weshalb die dort befindlichen Teile wiederum mit denselben Bezugszeichen, ergänzt durch einen Apostroph, versehen sind.

An den freien Enden der Lasttrume der beiden Ketten 17 und 18 hängt ein in den Fig. 4 und 5 veranschaulichtes Hakengeschirr 46. Das Hakengeschirr 46 ist etwa balkenförmig und besteht aus zwei parallel im Abstand nebeneinander verlaufenden Traversen oder Streben 47, die endseitig durch eine Verbindungsplatte 48 starr und unlösbar miteinander verbunden sind. Die Endplatte 48 ist mit den Enden der beiden Traversen 47 verschweißt. Etwa in der Mitte, bezogen auf die Länge der Traversen 47, befindet sich ein mit den Traversen 47 verschweißtes quaderförmiges Querstück 49, das mittig eine Bohrung 51 enthält, in der ein zylindrischer Schaft 52 eines Hakens 53 steckt. Der zylindrische Schaft 52 ist mit einer umlaufenden Ringnut 54 versehen, in der ein geteilter Sicherungsring 55 liegt, der gegen eine Schulter 56 der Stufenbohrung 51 anliegt.

Zwischen dem Querstück 49 und den beiden Endplatten 48 enthält das Hakengeschirr 46 zwei rechteckige Öffnungen 57, in denen zwei untereinander gleiche Verankerungseinrichtungen 58 sitzen, in denen die jeweilige Kette 17, 18 festgelegt ist. Jede Verankerungseinrichtung 58 besteht aus einem blockförmigen Grundkörper 61, der an seiner Unterseite mit einer nach außen ragenden Flanschplatte 62 versehen ist. Der blockförmige Grundkörper 61 hat etwa zylindrische Gestalt und paßt gerade zwischen die beiden Traversen 47. Quer dazu ist er abgeflacht und kann in der Öffnung 57 hin- und hergeschoben werden.

An der Oberseite des blockförmigen Grundkörpers 61 ist eine Flanschplatte 63 aufgeschraubt, die etwa dieselben Abmessungen hat wie der Flansch 62 an der Unterseite. Der lichte Abstand zwischen dem Flansch 62 und der Flanschplatte 63 entspricht der Höhe der im Querschnitt rechteckigen Traversen 47, derart, daß beim Anziehen von durch die Flanschplatte 63 reichenden und in den Grundkörper 61 eingedrehten Kopfschrauben 64 zwischen der Flanschplatte 63 und dem Flansch 62 die betreffenden Traversen 47 eingeklemmt werden. Die Verankerungseinrichtung 58 ist auf diese Weise reibschlüssig längs der Traversen 47 festgelegt.

In seinem Inneren enthält der blockförmige Grundkörper 61 eine Stufenbohrung 65, in der ein an seiner Außenseite zylindrisches Gabelstück 66 steckt, das mit seinem Gewindefortsatz 67 nach unten aus der Stufenbohrung 65 heraus schaut. Durch das Gabelstück 66 führt ein Zylinderstift 68, der auch durch das letzte Kettenglied der betreffenden Kette 17 bzw. 18 hindurchgeht. Auf diese Weise ist das letzte Kettenglied in dem Gabelstück 66 verankert.

Auf den Gewindefortsatz 67 ist eine Mutter 69 aufgeschraubt, mit deren Hilfe die Höhe des Gabelstücks 66 in der Bohrung 65 einstellbar ist.

Um ein Drehen des Gabelstücks 66 um seine Längsachse zu verhindern, ragt von der dem Haken 53 zugekehrten Seite her ein Gewindebolzen 71 in die Stufenbohrung 65, und zwar zwischen die Schenkel des Gabelstücks 66. Der Gewindebolzen 71 ist in eine entsprechende zu der Stufenbohrung 65 rechtwinklig verlaufende Gewindebohrung 72 eingedreht.

Da Kettennüsse infolge der in ihrem Umfang enthaltenen Kettentaschen polygonal sind, ist die Bewegung einer über sie laufenden Kette nicht gleichförmig, weil sich ständig der wirksame Abstand eines auf die Kettenuß auf- oder von ihr ablaufenden Kettengliedes ändert und trotz konstanter Winkelgeschwindigkeit so eine sich ständig ändernde Umfangsgeschwindigkeit zustandekommt. Eine über eine Kettenuß laufende Kette erfährt also ständig eine Geschwindigkeitsmodulation in dem Sinne, daß während eines Bruchteils der Drehung der Kettenuß die Kette gegenüber einem Seil vorlaufen würde, das über eine Seilrolle mit gleichem effektivem Durchmesser wie die Kettenuß läuft, während nach dem Durchgang durch ein Maximum anschließend während eines entsprechend langen Intervalls die Kette langsamer als das Seil laufen wird. In Falle einer Kettenuß mit vier Taschen werden folglich bei einer vollen Umdrehung vier Geschwindigkeitsmaxima und vier Geschwindigkeitsminima auftreten, die, bezogen auf die Kettenußumdrehung, um 90° gegeneinander versetzt sind. Die

Folge der ungleichförmigen Kettenbewegung ist eine ungleichförmige Hub- oder Senkbewegung der an dem Haken hängenden Last, was letztlich zu Longitudinalschwingungen in der Kette und Transversalschwingungen in der Schiene führt. Diese Auswirkungen sind umso stärker, je weniger Taschen eine Kettennuß enthält, weil die Amplitude der Geschwindigkeitsänderung mit abnehmender Taschenzahl zunimmt.

Um bei dem neuen Kettenzug die Geschwindigkeitsmodulation für eine an dem Haken 53 hängende Last so klein wie möglich zu halten, sind, wie Fig. 3 zeigt, die beiden angetriebenen Kettennüsse 34 und 34' gegeneinander verdreht. Hierdurch entsteht in dem Lasttrum der beiden Ketten 17 und 18 eine Phasenverschiebung in der Geschwindigkeitsmodulation bei der Bewegung der beiden Ketten 17 und 18. Da andererseits der Haken 53 mit der daran hängenden Last mit beiden Ketten 17 und 18 verbunden ist, tritt, sobald das Hubwerk 16 in Gang gesetzt wird, zwischen den Lasttrumen der beiden Ketten 17 und 18 ständig eine periodische Relativbewegung auf, die, da beide Ketten über synchron angetriebene Kettennüsse laufen, gleiche Frequenz und gleiche Amplitude aufweisen. Der Haken, der zweckmäßigerweise etwa in der Mitte zwischen den beiden Ketten 17 und 18 hängt, wird deswegen weitgehend gleichförmig bewegt, da seine Bewegung dem Augenblicksmittelwert der ungleichförmigen Bewegungen der beiden Ketten 17 und 18 entspricht. Im Idealfall wäre die Ungleichförmigkeit bei der Bewegung des Hakens 53 null, was jedoch tatsächlich nicht erreicht werden kann, weil die Welligkeit bei der Bewegung der Ketten komplizierte gradzahlige Oberwellenanteile aufweist. Gleichwohl wird eine an dem Haken 53 hängende Last sehr viel gleichmäßiger hinsichtlich der Bewegungsgeschwindigkeit angehoben oder abgesenkt, als wenn die beiden Kettennüsse 34 und 34' dieselbe Phasenlage aufweisen würden, d. h. beide Ketten 17 und 18 gleichzeitig, beispielsweise mit den liegenden Gliedern, in die zugehörigen Kettentaschen 35, 35' einlaufen würden. In diesem Falle würde die an dem Haken 53 hängende Last dieselbe Geschwindigkeitsänderung erfahren wie die Ketten 17 und 18.

Beim Betrieb des in den Figuren gezeigten Kettenzugs 1 laufen beim Anheben des Hakengeschirrs 46 die Lasttrume der Ketten 17 und 18 senkrecht nach oben zu den beiden ihnen zugeordneten lose laufenden Kettennüssen 44 und 44', an denen sie aus der Vertikalen um einen Winkel von ca. 120° in Richtung auf die beiden angetriebenen Kettennüsse 34, 34' umgelenkt werden. Von dort führen die beiden Ketten 17 und 18 um die angetriebenen Kettennüsse 34, 34' herum und es treten sodann ihre Leertrume aus den Kettennußgehäusen 32 und 32' mit einer geringen Komponente schräg nach unten aus, um in dem darunter befindlichen Kettenspeicher 41 bzw. 41' aufgefangen zu werden.

Wegen der nach oben versetzten lose laufenden Kettennüsse 44, 44' kann das Hakengeschirr 46 auf ein Niveau angehoben werden, bis es an der Unterseite des Unterflansches 3 anstößt, obwohl die angetriebenen Kettennüsse 34, 34', bezogen auf den Unterflansch 3, tiefer als diese liegen, damit die sie kuppelnde Welle 42 ungehindert unter der Fahrschiene 4 hindurchlaufen kann.

Die lose laufenden, als Umlenkrollen dienenden, Kettennüsse 44 und 44' weisen fünf Taschen auf. Bei einem praktischen Ausführungsbeispiel des neuen Kettenzugs 1 hat sich ein Versatz zwischen den beiden angetriebenen Kettennüssen 34, 34' von 52° als zweckmäßig herausgestellt. Der Versatz zwischen den beiden Kettennüssen 34 und 34' ist in Fig. 3 gezeigt, die übereinander gezeichnet die Lage der beiden Kettennüsse 34 und 34' veranschaulicht. Deutlich erkennbar sind die Kettentaschen 35 bzw. 35' für die liegenden Kettenglieder gegeneinander in Umfangsrichtung versetzt. Dies hat wiederum zur Folge, daß die Lasttrume der beiden Ketten 17 und 18 in dem vertikalen Teil gegeneinander entsprechend dem Versatz zwischen den beiden angetriebenen Kettennüssen 34, 34' höhenversetzt sind. Die letzten Glieder der beiden Ketten 17 und 18 stehen unterschiedlich hoch, womit sich während einer vollen Umdrehung der beiden Kettennußwellen 31, 31' vier Mal im Falle einer Kettennuß mit vier Taschen der Höhenversatz der Kettenenden zwischen einem größten und einem kleinsten Wert ändert. Damit das Hakengeschirr 46 im Mittel horizontal hängt, müssen die Enden der beiden Ketten 17 und 18 entsprechend höhenversetzt an dem Hakengeschirr 46 befestigt werden.

Dies wiederum hat zur Folge, daß die Traversen 47 des Hakengeschirrs 46 während einer vollen Umdrehung der Kettennußwellen 31, 31' eine Taumbewegung um eine Achse parallel zu der Längserstreckung der Fahrschiene 4 macht, wobei die Mittellage zweckmäßigerweise die Horizontallage der Traversen 47 ist.

Wegen der geringfügigen Taumbewegung des Hakengeschirrs 46 hängt es von den geometrischen Verhältnissen ab, ob das Hakengeschirr 46, wenn es an der Unterseite des Unterflansches 3 anstößt, gerade horizontal liegt oder aus der Horizontalen geringfügig herausgekippt ist. Eine verkippte Lage des Hakengeschirrs 46 hätte in der betreffenden voreilenden Kette 17 oder 18 eine höhere Zugspannung zur Folge. Um diese Ungleichförmigkeit zu vermeiden und um sicherzustellen, daß bei der Anlage an dem Unterflansch 3 das Hakengeschirr 46 exakt horizontal ausgerichtet ist, sind, wie vorher erläutert, die Enden der Ketten 17 und 18 in den Verankerungseinrichtungen 58 höhenverstellbar. Die Höhenverstellung erfolgt, indem die Mutter 69 mehr oder weniger weit auf den Gewindenschaft 67 aufgeschraubt wird, solange, bis beim Anschlagen an den Unterflansch 3 das Hakengeschirr 46 horizontal liegt. Dabei wird in Kauf genommen, daß durch diese Art der Justierung die horizontale Lage des Hakengeschirrs 46 unter Umständen nicht mehr die Mittellage ist, um die das Hakengeschirr 46 wegen des Drehwinkelversatzes der beiden Kettennüsse 34, 34' taumelt, sondern um eine entsprechende Justierung aus der Horizontalen ausgelenkte Lage.

Der dargestellte Kettenzug 1 gestattet wegen der an beiden Seiten der Fahrschiene 4 befindlichen Lasttrume für das Hakengeschirr 46 eine maximale Hubhöhe, andererseits gehören diese Lasttrume zu unterschiedlichen und voneinander an sich getrennten Ketten, so daß Kettenumlenkungen unterhalb der Fahrschiene 4 entbehrlich sind. Das Fehlen unnötiger Umlenkungen erhöht wiederum die Lebensdauer der beiden Ketten 17 und 18. Durch den Versatz der angetriebenen Kettennüsse 34, 34', bezogen auf ihre Rotation, werden die Ungleichförmigkeiten in der Hub- und Senkbewegung der Last sehr stark vermindert, so daß auch dann keine gefährlichen Schwingungen auftreten können, wenn die Kombination aus Masse der Last, Elastizität der Ketten 17, 18, Elastizität der Fahrschiene 5 und anderer nachgiebiger Glieder eine Resonanz aufweist, die bei einer bestimmten Hub- oder Senkgeschwindigkeit mit einer Frequenz der Ungleichförmigkeit in der Bewegung der Ketten 17, 18 zusammen-

fällt.

Zur Erläuterung der Ungleichförmigkeiten, die in der Bewegung der beiden Ketten 17 und 18 auftritt, ist nunmehr im folgenden auf die Fig. 6 bis 9 Bezug genommen.

Fig. 6 zeigt ausschnittsweise eine Kettennuß 100 mit insgesamt fünf Kettentaschen 101, auf die eine Rundstahlkette 102 aufgelegt ist. Die charakteristischen Größen, die für die Ermittlung der Kettenbewegung eine Rolle spielen, sind der Drahtdurchmesser d der Kettenglieder sowie die Weite des Auges der Kettenglieder, bezeichnet mit t . Unter Weite ist im folgenden die in Längsrichtung der Kette liegende lange Achse im Auge des Kettengliedes verstanden, wie sie in Fig. 6 gezeigt ist. Ferner spielt bei der Ermittlung der Kettenbewegung jener Radius eine Rolle, mit dem der Mittelpunkt des Querschnitts eines liegenden Kettengliedes umläuft, wobei dieser Querschnitt in einer Ebene liegt, auf der die Drehachse der Kettennuß 100 senkrecht steht und auf der der Berührungspunkt zwischen einem liegenden und einem stehenden Kettenglied der Kette 102 liegt. Dieser Radius ist in Fig. 6 mit r bezeichnet.

Die Schraffuren an den Schnitt- oder Bruchflächen der Darstellung nach Fig. 6 sind im übrigen aus Übersichtlichkeitsgründen weggelassen, so daß es sich um eine starke Schematisierung handelt, die nur den Zweck hat, die wichtigen geometrischen Größen zu erläutern.

Es wird ferner angenommen, daß das Lasttrum der Kette 102 von der Kettennuß 100 ausgehend senkrecht nach unten hängt. Wenn unter diesen Annahmen sich die Kettennuß um ihre Achse 103 dreht, vollführt das von der Kettennuß 100 ab- oder auf die Kettennuß 100 auflaufende Ende des Lasttrums eine ungleichförmige Bewegung, die sich in zwei Komponenten zerlegen läßt. Eine der beiden Komponenten der ungleichförmigen Bewegung ist horizontal und führt dazu, daß sich das Lasttrum der Kette periodisch an die Drehachse 103 der Kettennuß 100 annähert bzw. von der Drehachse 103 entfernt, während die andere Komponente in Längsrichtung des Lasttrums liegt. Für die Anregung von Schwingungen in dem Elektrokettenzug ist lediglich die in Richtung des Lasttrums liegende Komponente von Bedeutung. Die Komponente senkrecht dazu kann weitgehend vernachlässigt werden, denn sie führt nur zu Transversalschwingungen kleiner Amplitude in dem Lasttrum, die wegen der Reibung zwischen benachbarten Kettengliedern verhältnismäßig stark gedämpft ist. Anders sind die Verhältnisse hinsichtlich der Ungleichförmigkeiten in Längsrichtung des Lasttrums, die zu Longitudinalschwingungen führen. Diese Longitudinalschwingungen sind weit schlechter gedämpft, weil sie in erster Näherung durch Verformung der Kettenglieder zustandekommen und die Verformung der Kettenglieder keiner starken Dämpfung unterliegt.

Mit anderen Worten die Abweichungen der Längsbewegung des Lasttrums der Kette 102 lassen sich als momentane Abweichungen zwischen dem Hub der Kette 102 und einem Seil verstehen, das sich mit derselben mittleren Geschwindigkeit wie die Kette 102 bewegt, mit anderen Worten, einem Seil, das bei gleichem Drehwinkel ψ wie die Kettennuß 100 denselben mittleren Weg zurücklegt wie die Kette 102.

Diese Hubdifferenz zwischen einer Last an einem Seil und an der Kette 102 läßt sich durch die nachstehende Gleichung (1) zwischen 0 und $\alpha/2$ und durch die Gleichung (2) für den Drehwinkel zwischen $\alpha/2$ und α beschreiben.

$$y(\psi) = \frac{t+d}{2} + r \cdot \sin(\psi - \beta) - \frac{e \cdot t}{\pi} \cdot \psi; 0 \leq \psi \leq \frac{\alpha}{2} \quad (1)$$

$$y(\psi) = \frac{3 \cdot t - d}{2} + r \cdot \sin(\psi - \alpha + \beta) - \frac{e \cdot t}{\pi} \cdot \psi; \frac{\alpha}{2} \leq \psi \leq \alpha \quad (2)$$

$$\text{Mit } \alpha = 360^\circ / e \quad (3)$$

wobei e die Anzahl der Taschen 101 der Kettennuß 100 ist, β aus der obigen Gleichung (1) und (2) ergibt sich nach Gleichung (4),

$$\beta = \arctan \left[\frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{\frac{t-d}{t+d} + \cos \frac{\alpha}{2}} \right] \quad (4)$$

während r gemäß Gleichung (5) definiert ist.

$$r = \frac{t+d}{2 \cdot \sin \beta} \quad (5)$$

Der Hub der Kette 102 entspricht somit dem Abziehen eines Fadens 104 von einem Polygon 105 mit einer Drehachse 106, das 2e Ecken 107 hat. Die Ecken 107 liegen alle auf einem Kreis mit dem Radius r , der gemäß Fig. 6 definiert ist. Das Polygon 105 ist allerdings kein reguläres Polygon, sondern hat zwei Sätze von Kanten 108, 109 unterschiedlicher Länge. Die Zahl der Kanten in jedem Satz entspricht der Anzahl der Taschen der Kettennuß 100, d. h. im vorliegenden Falle gibt es fünf Kanten 108 und fünf Kanten 109, wobei die Länge der Kanten 108 dem Abstand jener Mittelpunkte der Querschnitte eines liegenden Kettengliedes entspricht, die von der Achse 103 den Abstand r haben. Die Länge der Kante 109 dagegen ist der Abstand benachbarter Mittel-

punkte der Querschnitte benachbarter liegender Kettenglieder.

Fig. 8 zeigt nun in einer Kurve 111 die Hubdifferenz, die sich zwischen einer Last an der Kette 104 und einer Last an einem Seil einstellt, das um eine Seilscheibe läuft, deren Umfang gleich dem Umfang des Polygons nach Fig. 7 ist. Dabei sei zunächst angenommen, daß sich beide Lasten auf derselben Höhe befinden, wenn das Polygon die Position nach Fig. 7 einnimmt. Ausgehend hiervon wird sich bei einer Drehung der Kettennuß 100 bzw. des Polygons 105 im Gegenuhrzeigersinne zunächst einmal die Last an der Kette 104 langsamer anheben als die vergleichbare Last an dem Seil, weil der Wirkradius kleiner ist. Dadurch wird nach einem bestimmten Drehwinkel kleiner als $\beta/2$ die Last an der Kette 104 tiefer hängen als die Last an dem Seil. Der größte Unterschied zwischen der momentanen Hubhöhe der Kette und dem vergleichbaren Seil wird erreicht werden, wenn der Drehwinkel ψ etwa gleich $\beta/2$ geworden ist. Beim weiteren Drehen der Kettennuß 100 im Gegenuhrzeigersinne wird sich der Abstand zwischen der Last an der Kette 104 und an dem vergleichbaren Seil wieder vermindern. Der Abstand zwischen beiden Lasten wird zu 0, wenn der Drehwinkel ψ der Kettennuß 100 gerade gleich $\alpha/2$ geworden ist. Ab dieser Stelle wird die Last an der Kette 104 bei gleichem Drehwinkel ψ schneller angehoben als die Last an dem Seil, wodurch zwischen der Last an dem Seil und der Last an der Kette 104 eine Hubdifferenz entsteht, die nun positiv ist und ihr Maximum bei etwa $\psi = \alpha - \beta/2$ erreicht. Von da an wird die Last an der Kette 104 wieder langsamer angehoben, so daß die Last an dem Seil bei einem Drehwinkel $\psi = \alpha$ wieder eingeholt hat, d. h. die Last an der Kette 102 und die Last an dem vergleichbaren Seil hängen wiederum auf gleicher Höhe, jedoch um den Betrag des äquivalenten Seilscheibenradius multipliziert mit dem entsprechenden Bogen höher. Der äquivalente Seilscheibenradius ergibt nach der folgenden Bedingung

$$r_m = \frac{e \cdot t}{\pi} \quad (7)$$

Fig. 8 läßt deutlich erkennen, daß die Extrema der Kurve 111 in Richtung $\psi = 0$ bzw. $\psi = \alpha$ verschoben sind. Außerdem ändert sich die Steigung bei $\psi = \alpha/2$ deutlich. Die Kurve 111 läßt sich bereits mit einer sehr guten Näherung mit zwei reinen Sinuskurven 112 und 113 annähern. Dabei hat die Sinuskurve 112 die Periodenlänge α , während die Sinuskurve 113 die Periodenlänge 2α aufweist. Zwischen beiden Sinuskurven 112, 113 besteht keine Phasenverschiebung d. h. beide sind für $\alpha = 0$ ebenfalls 0.

Einfache Überlegungen zeigen, daß unabhängig von den Taschen, die die Kettennuß aufweist, qualitativ immer derselbe Verlauf der Hubdifferenz, wie er in Fig. 8 gezeigt ist, auftritt und folglich auch unabhängig von der Anzahl der Taschen sich die Hubdifferenz durch die beiden Sinuskurven 112 und 113 approximieren läßt. Der verbleibende Fehler gegenüber der tatsächlichen Kurve 111 ist so gering, daß er für die Anregung von Schwingungen in dem Elektrokettenszug 1 außer Betracht bleiben kann.

Werden nun diese Überlegungen auf den Elektrokettenszug 1 übertragen, so führt jede seiner beiden Ketten 17, 18 eine Bewegung aus, die gegenüber dem gedachten Seil zu einer Hubdifferenz führt, wie sie in Fig. 8 gezeigt ist. Allerdings liegen die Kurven nicht deckungsgleich, sondern sind entsprechend einem Winkel Θ , um den die beiden Kettennüsse 34 und 34' gegeneinander verdreht sind, gegeneinander versetzt. Das Hakengeschirr 46 führt dagegen eine Bewegung aus, dessen Hubdifferenz gegenüber dem gedachten gleichmäßig laufenden Seil gleich dem Mittelwert der momentanen Hubdifferenzen der beiden Lastketten 17 und 18 ist. Somit gilt für die Hubdifferenz, die das Hakengeschirr 46 gegenüber dem gedachten Seil vollführt, die nachstehende Gleichung, wobei die Indizes angeben, an welchem Teil die Hubdifferenz gegenüber dem gedachten Teil gemessen ist.

$$\gamma_{46}(\psi) = \frac{\gamma_{17}(\psi) + \gamma_{18}(\psi + \Theta)}{2} \quad (8)$$

Werden in diese Gleichung die Näherungslösungen entsprechend den beiden Kurven 112 und 113 eingesetzt, die die tatsächliche Kurve 111 ersetzen sollen, ergibt sich folgende Gleichung:

$$\gamma_{46}(\psi) = -\frac{A}{2} (\sin \psi + \sin(\psi + \Theta)) - \frac{B}{2} (\sin 2\psi + \sin(2\psi + 2\Theta)) \quad (9)$$

Diese Gleichung enthält zwei Terme X_1 und X_2 :

$$X_1 = -\frac{A}{2} (\sin \psi + \sin(\psi + \Theta))$$

$$X_2 = -\frac{B}{2} (\sin 2\psi + \sin(2\psi + 2\Theta))$$

Wenn jeder der beiden Terme für sich betragsmäßig als Funktion von ψ ausgerechnet wird, wird der in Fig. 9 gezeigte Zusammenhang erhalten. Aus dem Verlauf der Kurven für $|X_1|$ und $|X_2|$ ergeben sich folgende Schlußfolgerungen:

Entsprechend der Länge der Kette und ihrer Elastizitätseigenschaften ergibt sich zusammen mit der angehängten Last ein schwingungsfähiges System, das Resonanzfrequenzen aufweist, die von der Elastizität der Kette und der Masse der Last abhängig sind. Ein anderes schwingungsfähiges System an demselben Elektrokett-

tenzug besteht aus der Masse des Elektrokettenzugs samt angehängter Last und der Elastizität der Schiene, auf der der Elektrokettenzug 1 läuft. Andererseits entstehen, wenn die Last an dem Hakengeschirr 46 bewegt wird, anregende Frequenzen, die durch die Anzahl der Kettentaschen 35, 35' der beiden Kettennüsse 34, 34' sowie der Hubgeschwindigkeit bestimmt sind. Dabei treten, wie sich aus den obigen Darlegungen ergibt, zwei Frequenzen, nämlich die Grundschiwingung infolge der Anzahl der Taschen der Kettennuß sowie eine Oberschiwingung in jeder Kette auf. Fällt eine der anregenden Frequenzen mit einer Resonanzfrequenz des Gesamtsystems zusammen, kann es zu gefährlichen Situationen kommen, wenn die Dämpfung im System nicht ausreichend ist.

Ist nun anzunehmen, daß lediglich Betriebssituationen auftreten können, bei denen die Grundschiwingung als Folge der eckigen Kettennuß mit Resonanzfrequenzen zusammenfallen kann, wird bei dem Elektrokettenzug 1 der Verdrehwinkel ϑ zwischen den beiden Kettennüssen 34, 341 so gewählt, daß der Term $|X_1|$ 0 wird. Dies ist, wie Fig. 9 zu entnehmen ist, dann der Fall, wenn der Verdrehwinkel ϑ $360^\circ/(2e)$ beträgt. Unter dieser Bedingung heben sich an dem Hakengeschirr 46 die Grundschiwingungen in den beiden Ketten 17, 18 gerade auf, so daß an der Last nun noch die Schwiwingung infolge der ersten Oberschiwingung, also gemäß dem Term X_2 zu beobachten ist.

Ist hingegen davon auszugehen, daß der Kettenzug 1 in gefährliche Betriebssituationen nur dann gelangen kann, wenn die erste Oberwelle der Grundschiwingung gefährliche Resonanzen hervorrufen kann, wird der Term $|X_2|$ zu 0 gemacht, was, wie Fig. 9 zeigt, mit zwei Verdrehwinkeln ϑ erreicht werden kann. Der eine Verdrehwinkel hat die Größe $360^\circ/(4e)$, während der andere Verdrehwinkel die Größe $3.360^\circ/(4e)$ aufweist. Werden die Verdrehwinkel in dieser Weise gewählt, kompensieren sich an dem Hakengeschirr 46 gerade die von den beiden Ketten 17, 18 herrührenden Ungleichförmigkeiten, so daß an der an dem Hakengeschirr 46 hängenden Last nurmehr die Grundschiwingung entsprechend dem Term $|X_1|$ festzustellen ist.

Als letzter Grenzfall kann angenommen werden, daß sowohl die Grundschiwingung als auch die erste Oberschiwingung gefährliche Resonanzen anregen können. In diesem Falle wird ϑ so gelegt, daß sowohl $|X_1|$ als auch $|X_2|$ gleichzeitig betragsmäßig möglichst klein sind. Diese Bedingung ist für jene Werte von ϑ erfüllt, bei denen sich die Kurven für $|X_1|$ und $|X_2|$ schneiden. Die Lage dieses Schnittpunktes hängt von dem Amplitudenverhältnis zwischen $|X_1|$ und $|X_2|$ ab und ist damit von den Faktoren A und B abhängig, die wiederum entsprechend den Gleichungen (1) und (2) von dem Drahtdurchmesser d und der Augenweite t sowie der Anzahl der Taschen bestimmt werden. In jedem Falle liegt der Schnittpunkt zwischen den Werten von ϑ die für die oben erwähnten Grenzfälle optimal sind.

Selbstverständlich kann, je nachdem, ob die Resonanz ausgelöst durch die Grundwelle oder die Resonanz bei der ersten Oberschiwingung die schlechtere Dämpfung hat, der Wert für ϑ mehr in Richtung kleinerer Amplitude der Grundschiwingung oder mehr in Richtung kleinerer Amplitude der ersten Oberschiwingung verschoben werden. Im Falle der Verwendung der viertaschigen Kettennüsse 34 und 34' liegt das Optimum für den Wert von ϑ bei 36° bzw. 54° , wenn $|X_1|$ und $|X_2|$ betragsmäßig gleich groß sein sollen.

Patentansprüche

1. Elektrokettenzug (1) mit einem längs einer Schiene (4) laufenden Katzfahrwerk (2), an dem ein eine Antriebseinrichtung (19) aufweisendes Hubwerk (16) angeordnet ist, das auf einer Seite einer durch eine Schiene (5) gehenden Vertikalebene wenigstens eine Kettennuß (34) und auf der anderen Seite der Vertikalebene wenigstens eine weitere Kettennuß (34') aufweist, die synchron mit der Kettennuß (34) auf der ersten Seite läuft, sowie mit zwei Ketten (17, 18) von denen jede über eine zugehörige Kettennuß (34, 34') läuft und die beide mit einem Hakengeschirr (46) verbunden sind, wobei die beiden Kettennüsse (34, 34'), bezogen auf den Lauf der beiden Ketten (17, 18) gegeneinander verdreht sind, derart, daß die beiden Ketten (17, 18) in ihrem vertikalen Teil relativ zueinander einen Höhenversatz aufweisen, der ein Bruchteil der Kettenteilung oder ein ganzteiliges Vielfaches der Kettenteilung zuzüglich einem Bruchteil der Kettenteilung ist nach Patent ... (Patentanmeldung P 41 04 985.3), dadurch gekennzeichnet, daß der Winkel (9), um den die beiden Kettennüsse (34, 34') gegeneinander verdreht sind, einem Bereich zwischen $360^\circ/(4e) - \epsilon$ und $3.360^\circ/(4e) + \epsilon$ liegt, mit $e =$ Anzahl der Taschen der Kettennuß (34, 34') und $\epsilon =$ ein zulässiger Fehler.
2. Elektrokettenzug nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Winkel (9), um den die beiden Kettennüsse (34, 34') gegeneinander verdreht sind, in einem Bereich von $360^\circ/(4e) \pm \epsilon + n \cdot 360^\circ/(2e)$ liegt, mit $n = 0, 1, 2, \dots$, wenn auf minimaler Anregung durch die erster Oberschiwingung optimiert werden soll.
3. Elektrokettenzug nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Winkel (9), um den die beiden Kettennüsse (34, 34') gegeneinander verdreht sind, in einem Bereich von $n \cdot 360^\circ/(2e) \pm \epsilon$ liegt, mit $n = 0, 1, 2, \dots$, wenn auf minimale Anregung durch die Grundschiwingung optimiert werden soll.
4. Elektrokettenzug nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Winkel (9), um den die beiden Kettennüsse (34, 34') gegeneinander verdreht sind, in einem Bereich von $360^\circ/(4e) + 360^\circ/(8e) \pm \epsilon$ oder $3.360^\circ/(4e) - 360^\circ/(8e) \pm \epsilon$ liegt, wenn auf minimaler Anregung durch die Grundschiwingung und die erste Oberschiwingung gleichzeitig optimiert werden soll.

Hierzu 8 Seite(n) Zeichnungen

— Leerseite —

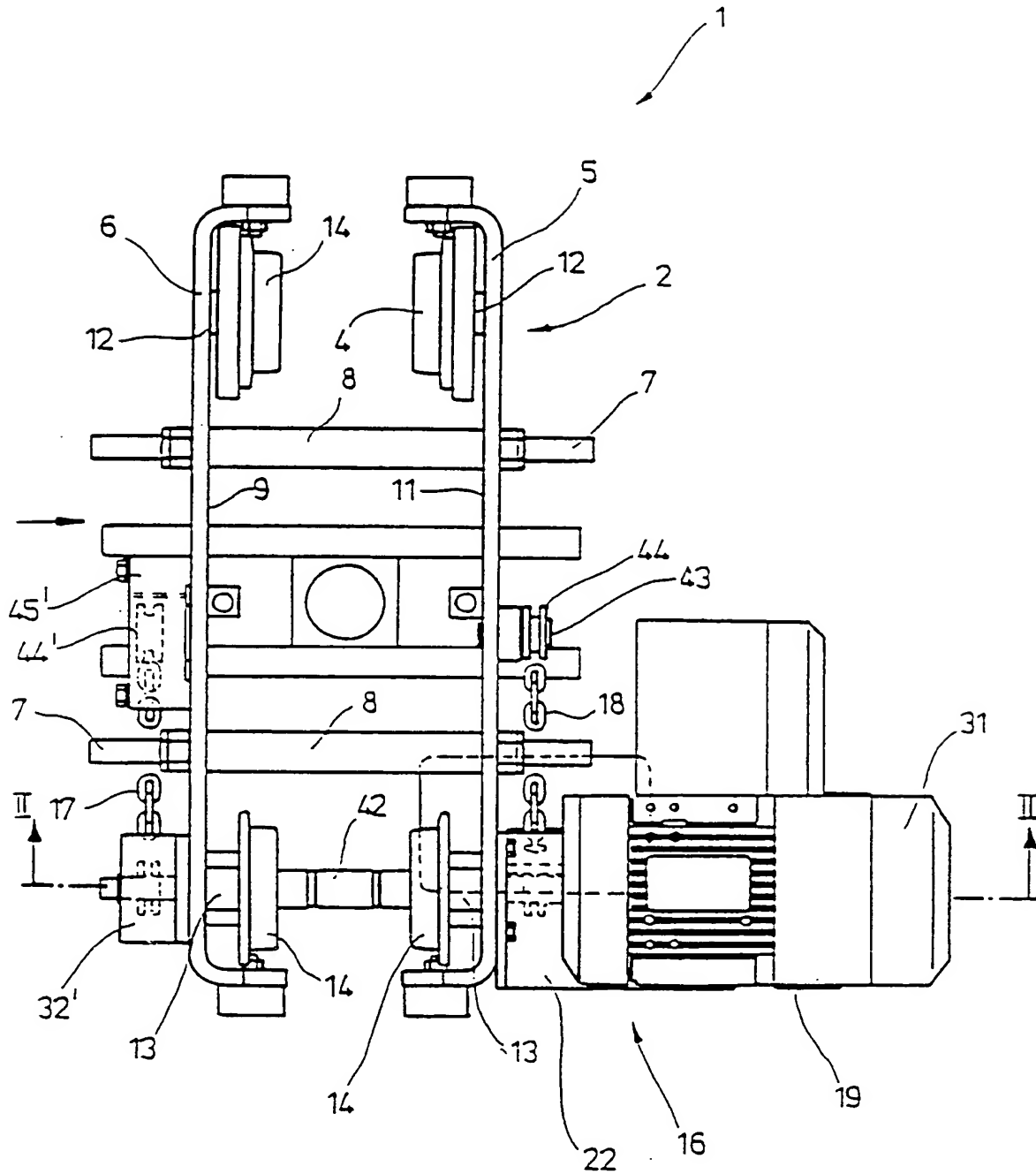


Fig. 1

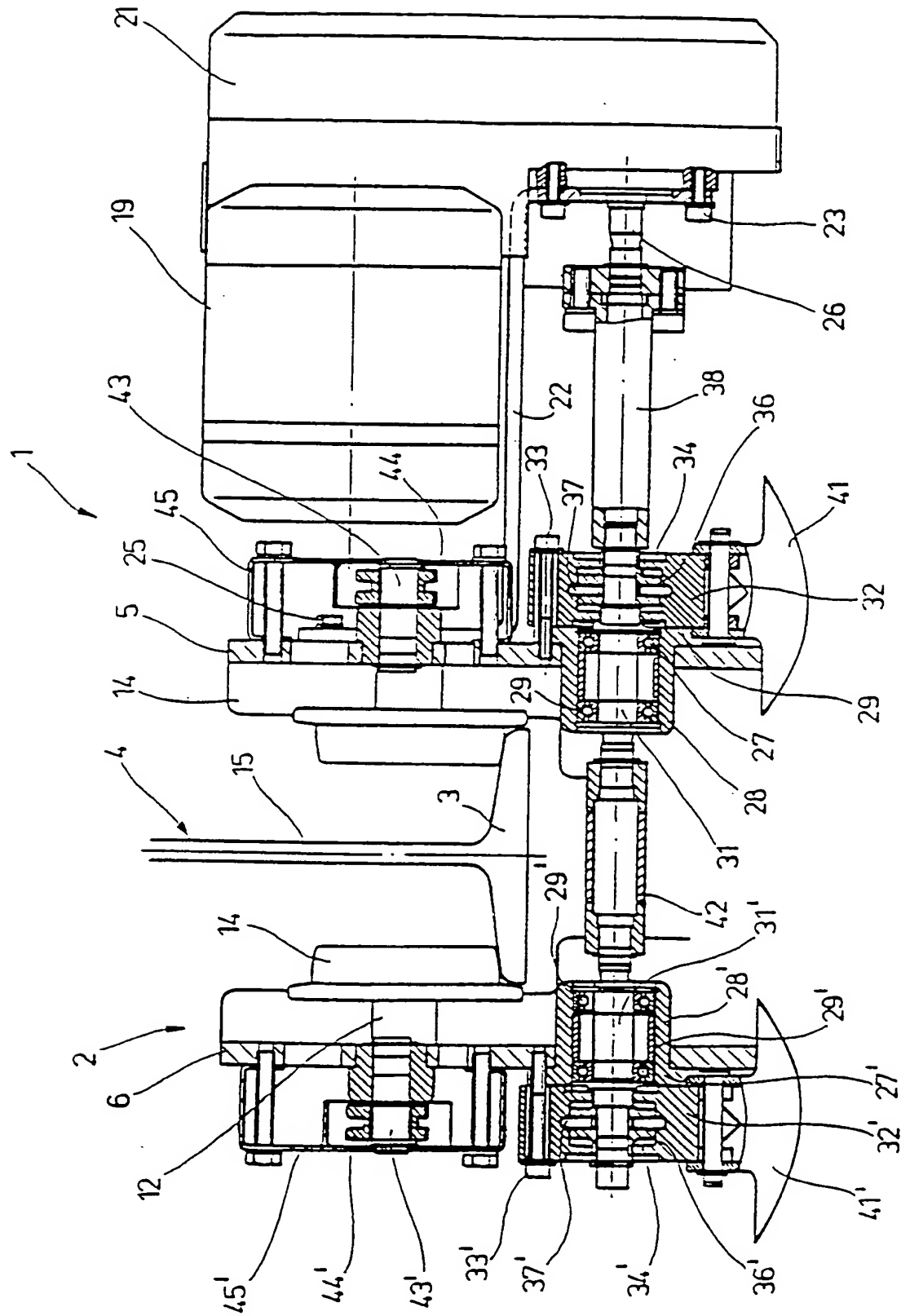
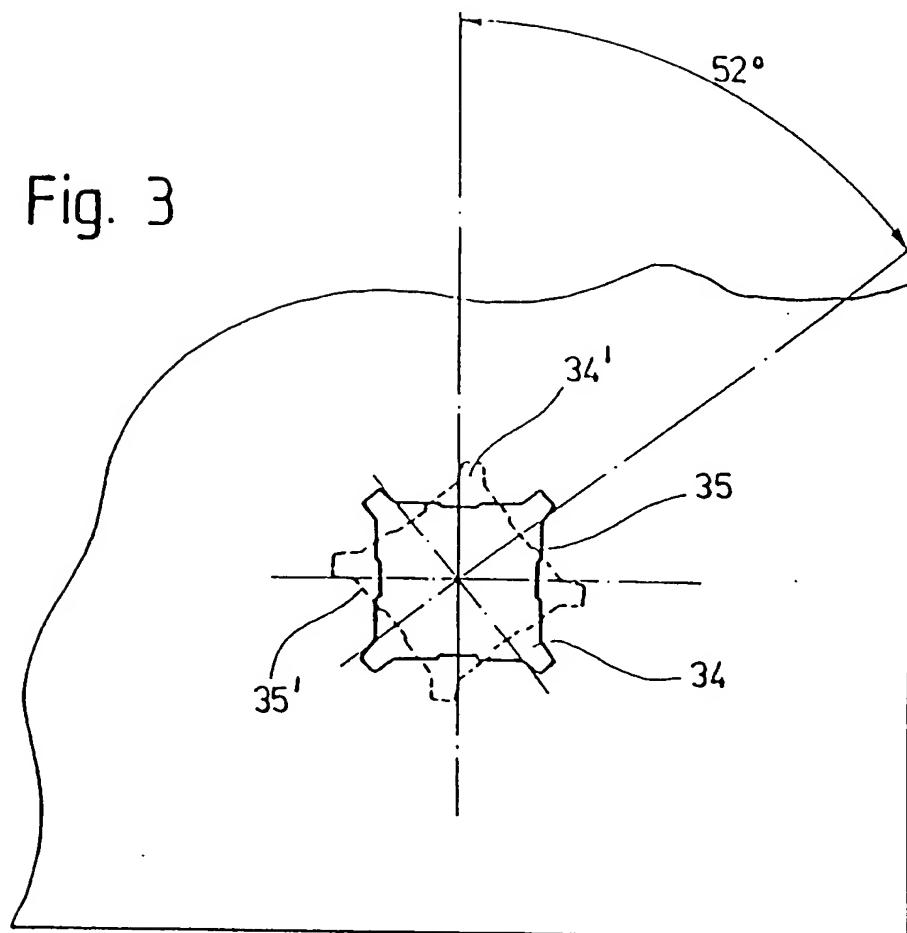
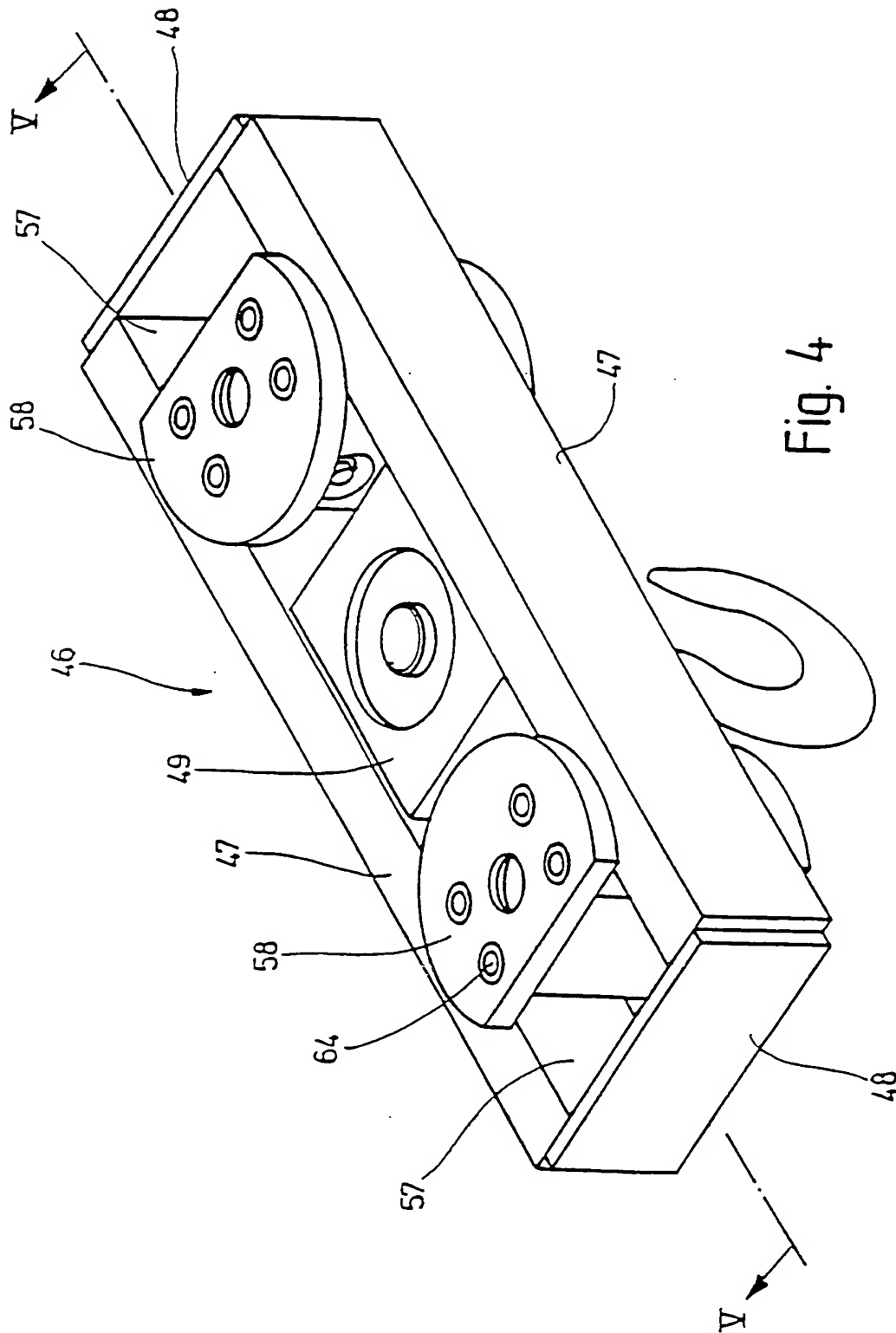


Fig. 2

Fig. 3





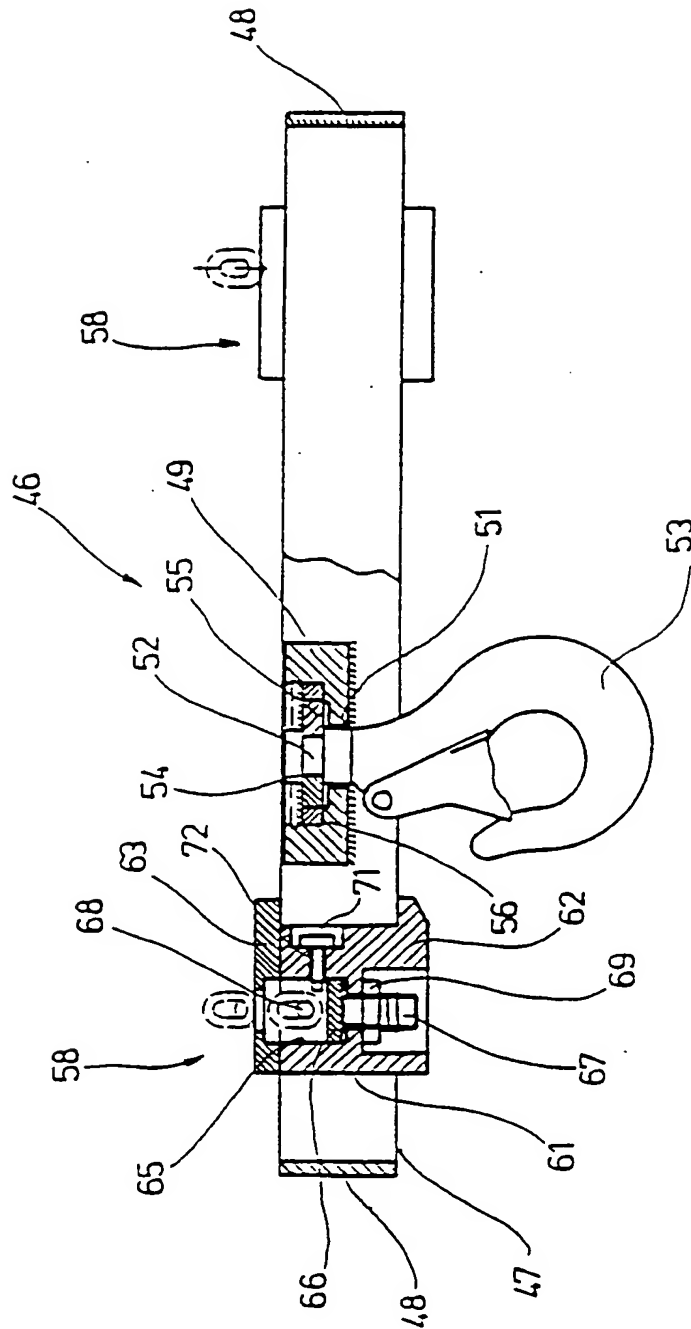


Fig. 5

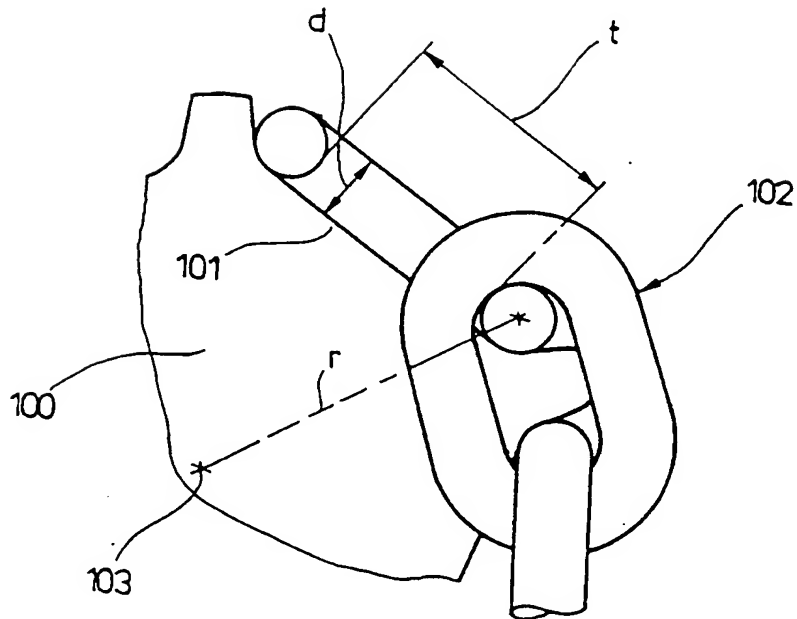


Fig. 6

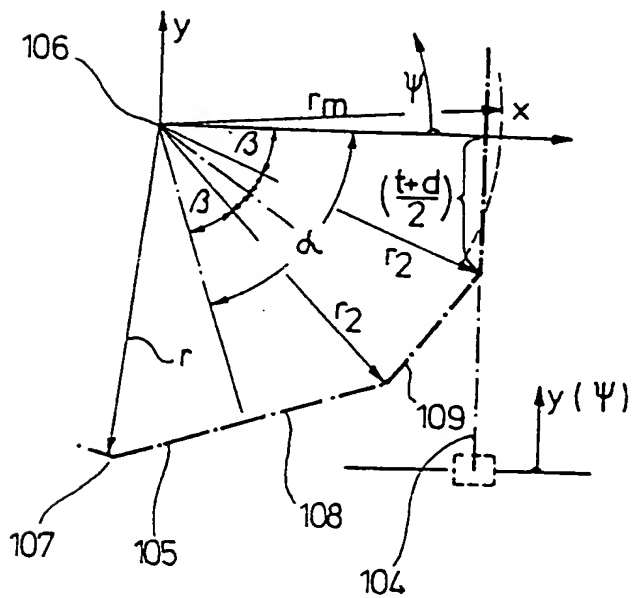


Fig. 7

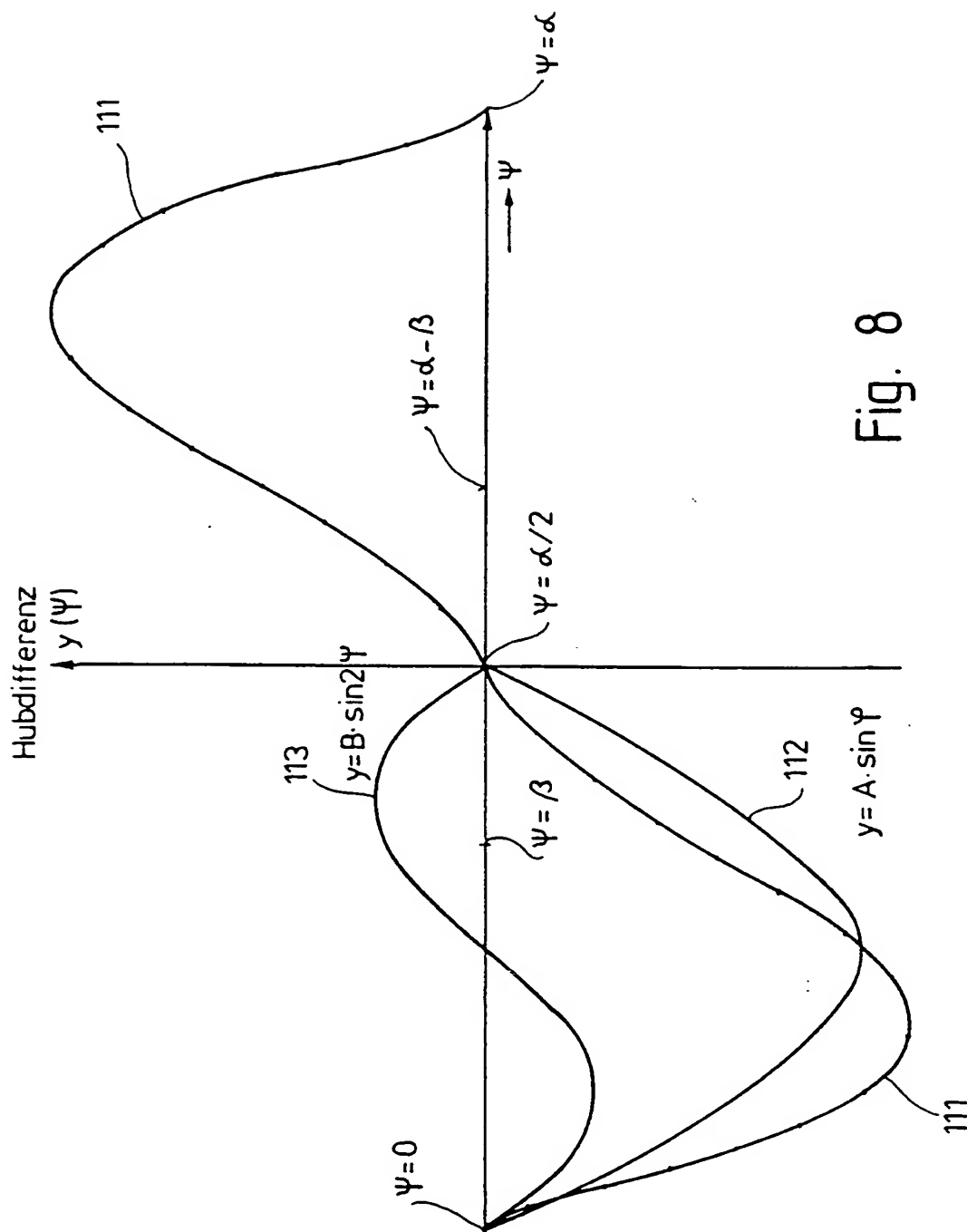


Fig. 8

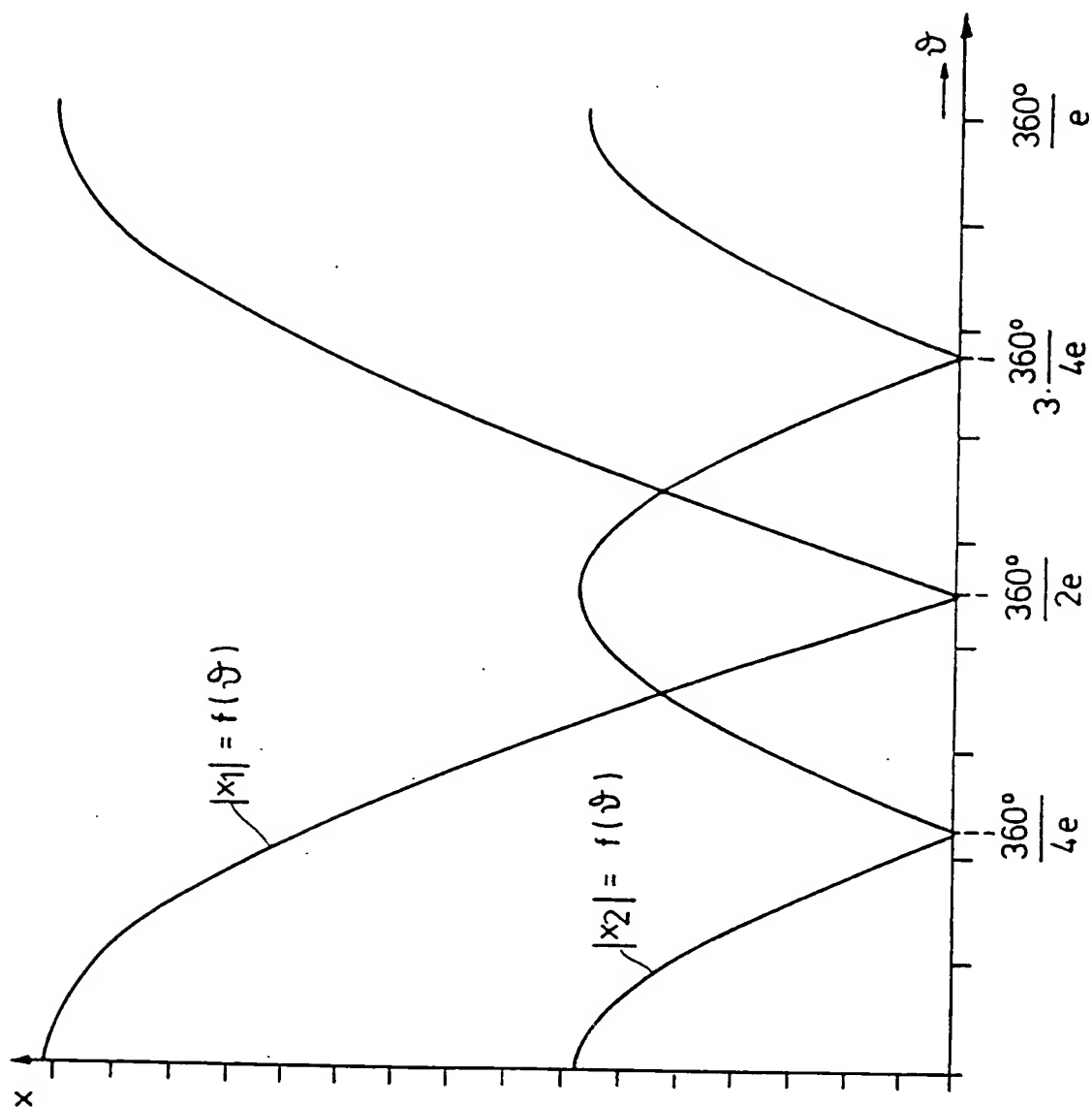


Fig. 9